Revisão - BJT

Transistores MOS

Transistores Bipolares

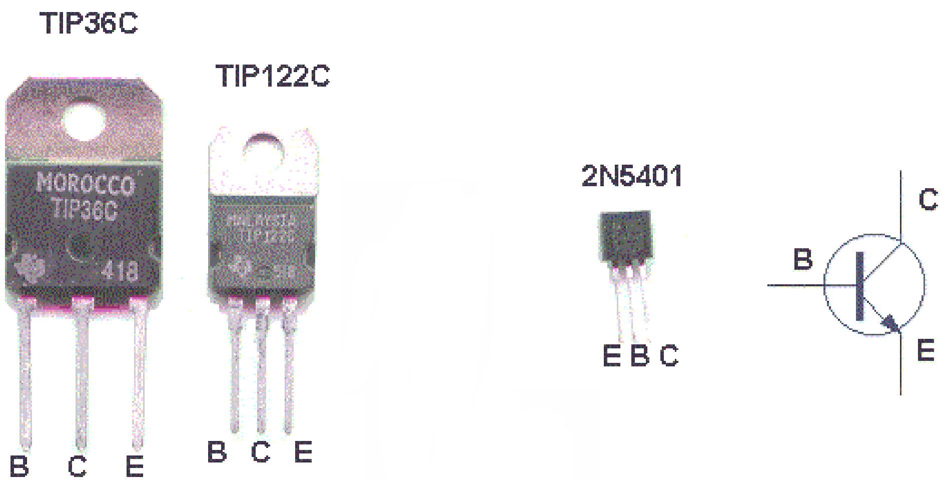
Amplificadores

Resposta em Frequência

Transistores BJT

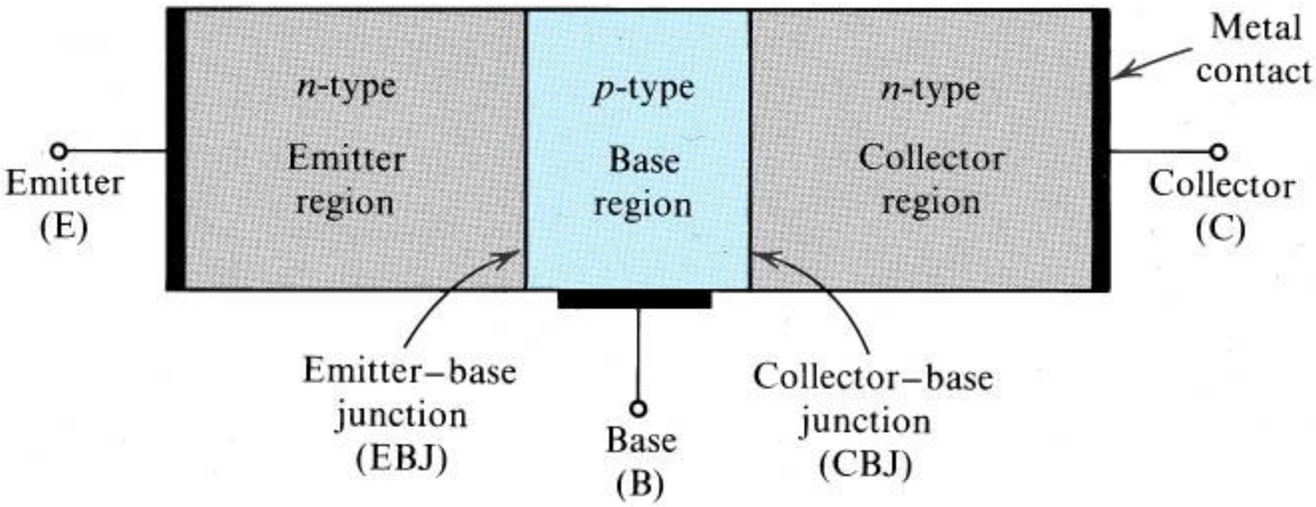
Bipolar **J**unction **T**ransistor

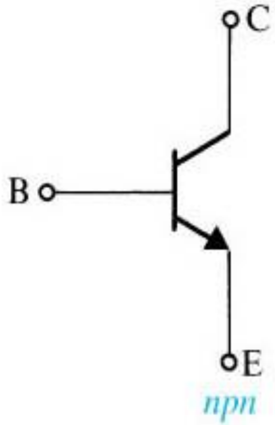
Transistor Bipolar de Junção (TBJ)

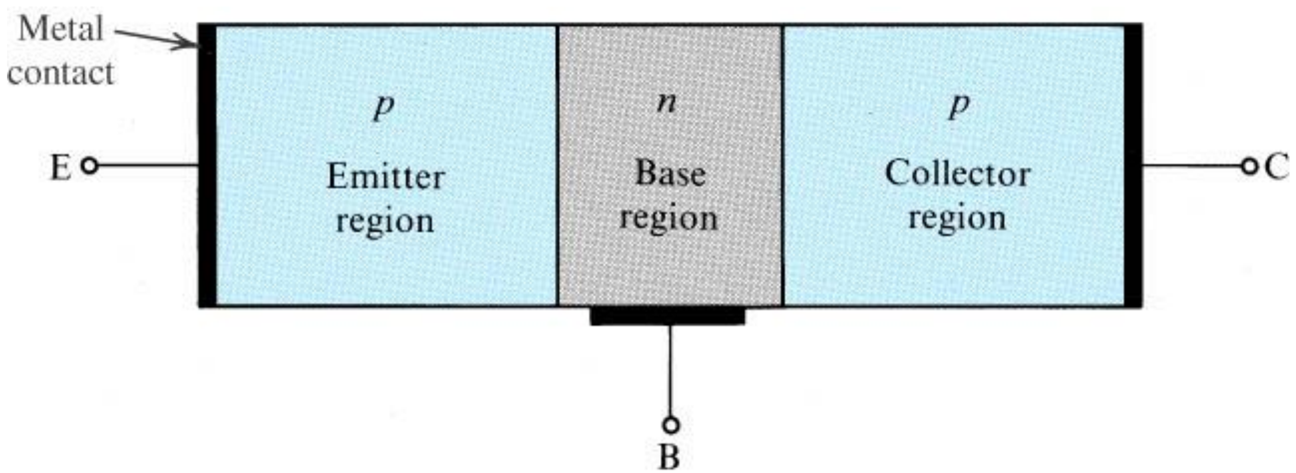


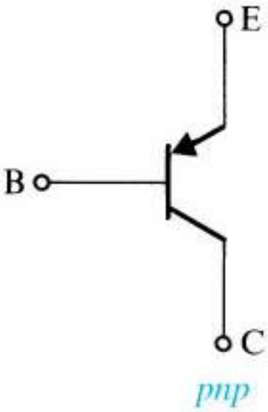
Transistores TBJ

Transistor Bipolar: NPN & PNP

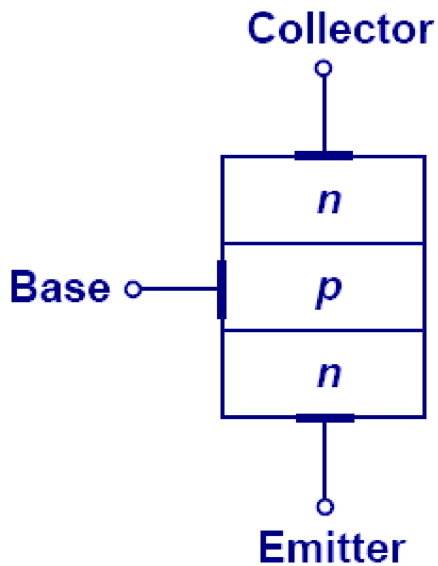


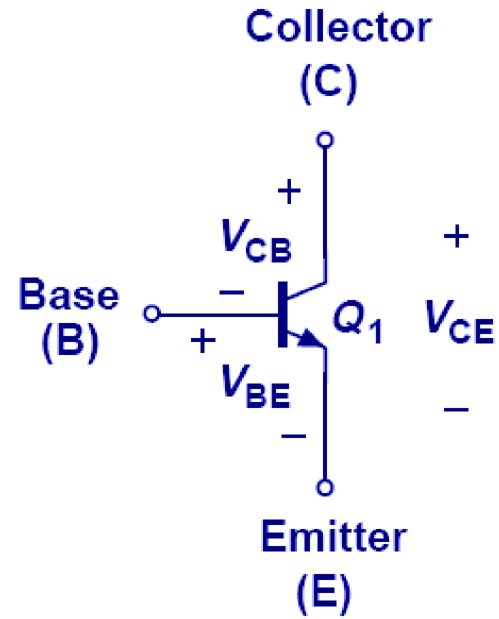


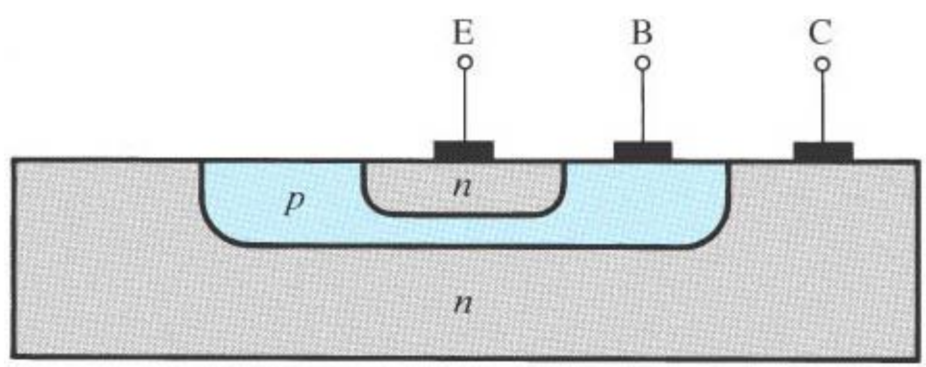




Transistores TBJ



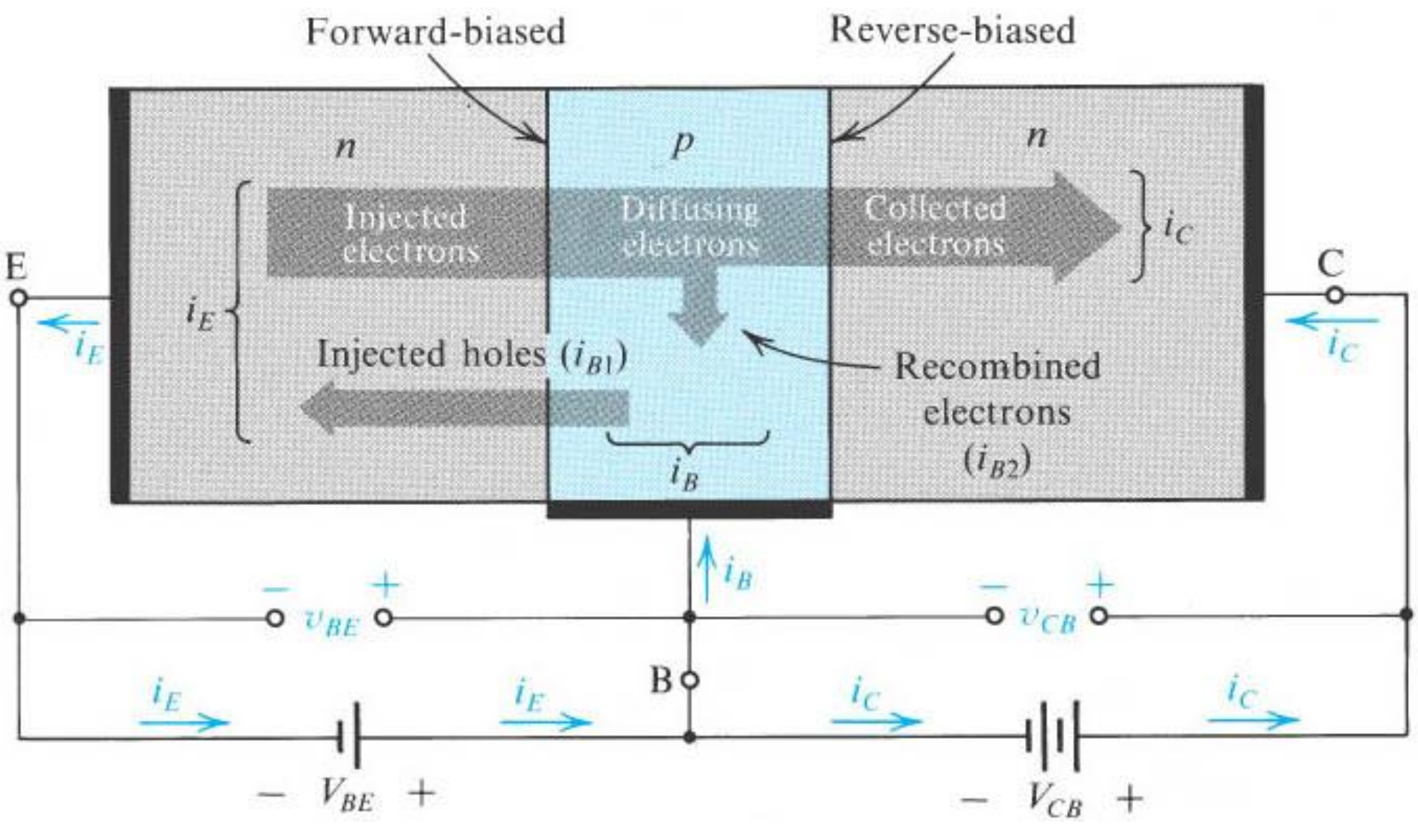




Vista em corte de um transistor bipolar *npn* (real)

Transistores TBJ

Fluxo de corrente em um transistor *npn* operando no <u>modo ativo</u>



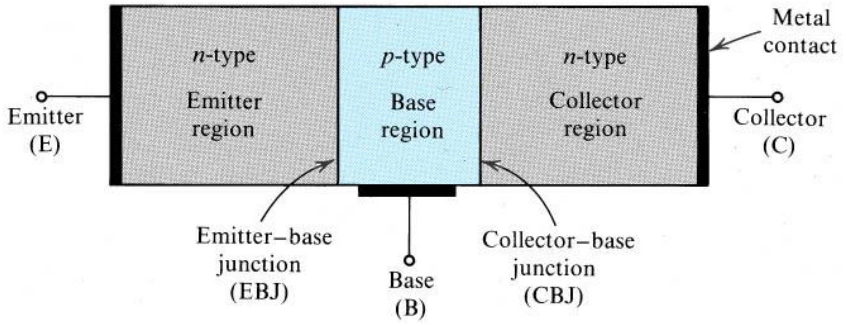
Transistores TBJ

Modos de operação

Modo	JEB	JCB
Ativo	Direta	Reversa
Corte	Reversa	Reversa
Saturação	Direta	Direta
Ativo Reverso	Reversa	Direta

JEB : Junção Emissor-Base

JCB : Junção Coletor-Base



Corrente de Coletor

$$\boxed{i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}}$$

$$I_S = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W}$$

I_S da ordem de 10^{-12} a 10^{-15} A;

$I_S \propto T$ (n_i^2) ; I_S dobra a cada 5 ºC;

A_E : fator de escala de corrente;

i_C não depende de v_{CE} !!

Transistores TBJ

Modo Ativo

Corrente da Base

$$i_B = i_{B1} + i_{B2} = \boxed{I_S \left(\frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right)} \exp {}^{v_{BE}} \!\big/ {}_{V_T}$$

$$i_B = \boxed{\frac{I_S}{\beta}} \exp {}^{v_{BE}} \!\big/ {}_{V_T} \qquad\qquad i_B = \frac{i_C}{\beta}$$

β 100 a 200 (estruturas especiais até 1000)

β ganho de corrente emissor comum

β bastante influenciado pela largura da base (*W*)

β bastante influenciado pela razão de dopagem entre emissor e base (N_A/N_D)

Transistores TBJ

Modo Ativo

Corrente de Emissor

$$\boxed{i_E = i_C + i_B}$$

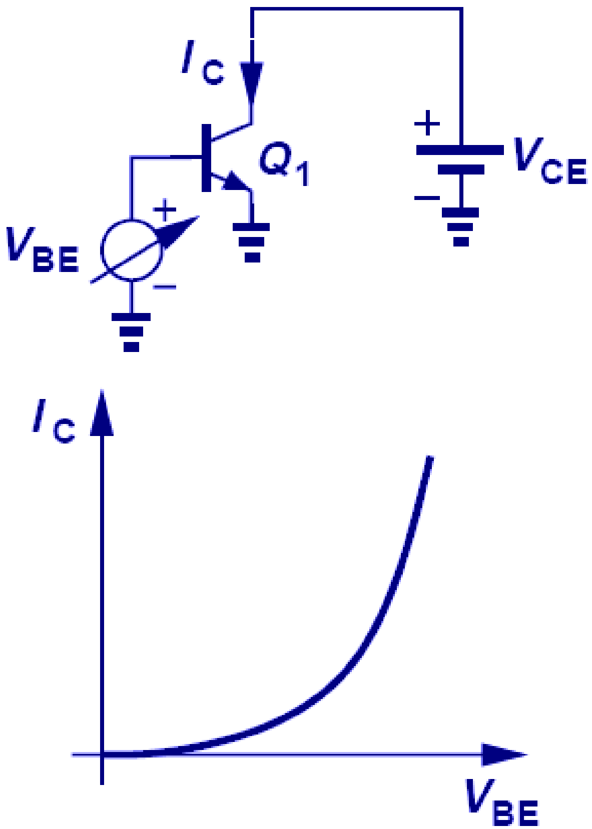
$$i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} i_C \qquad i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} I_S \exp {}^{v_{BE}}\!/_{V_T}$$

$$i_C = \alpha i_E \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

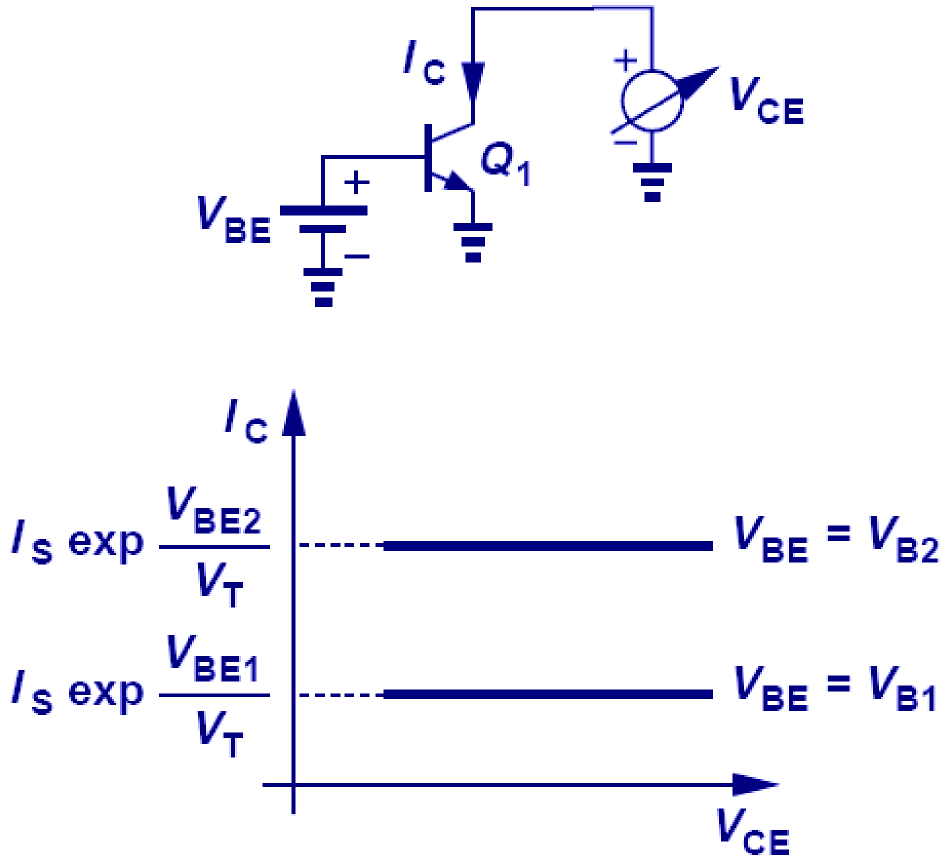
$$i_E = \frac{I_S}{\alpha} \exp {}^{v_{BE}}\!/_{V_T}$$

Transistores TBJ

Características I x V.



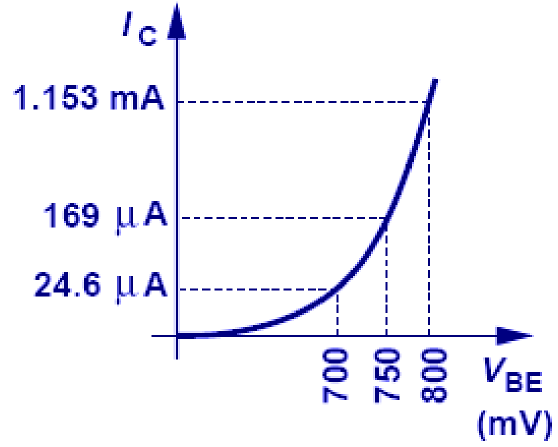
(a)



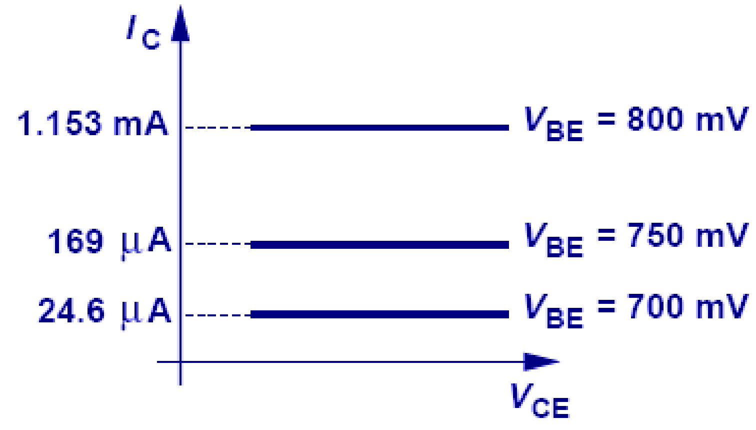
(b)

Transistores TBJ

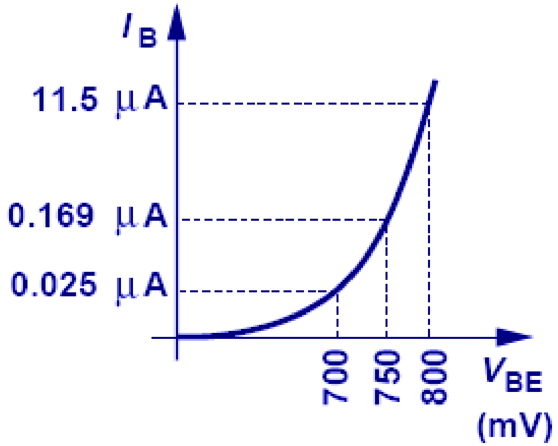
Características I x V.



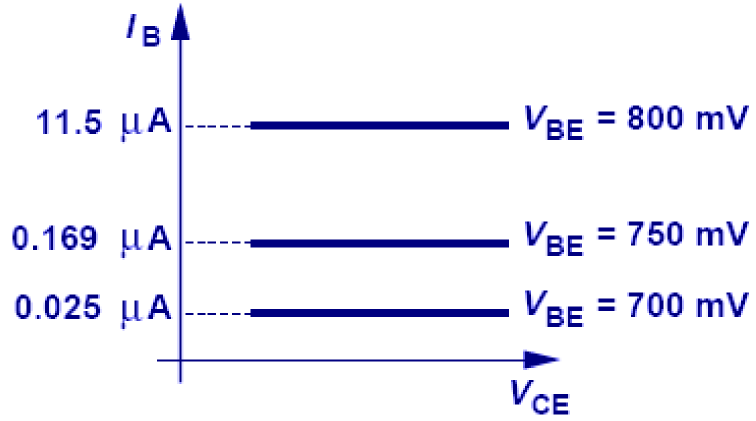
(a)



(b)

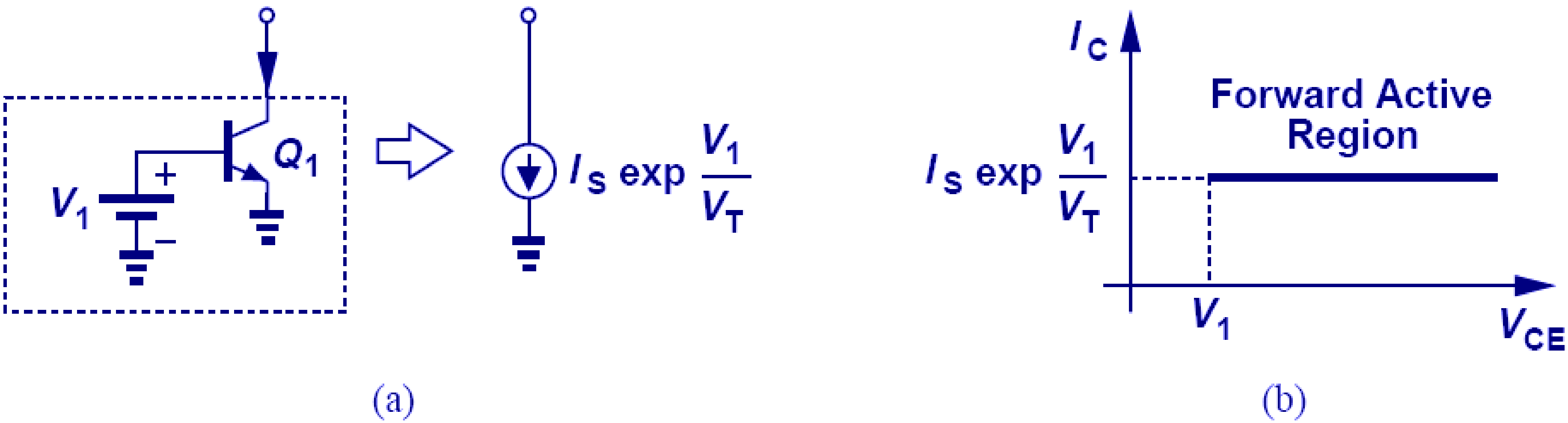


(c)



(d)

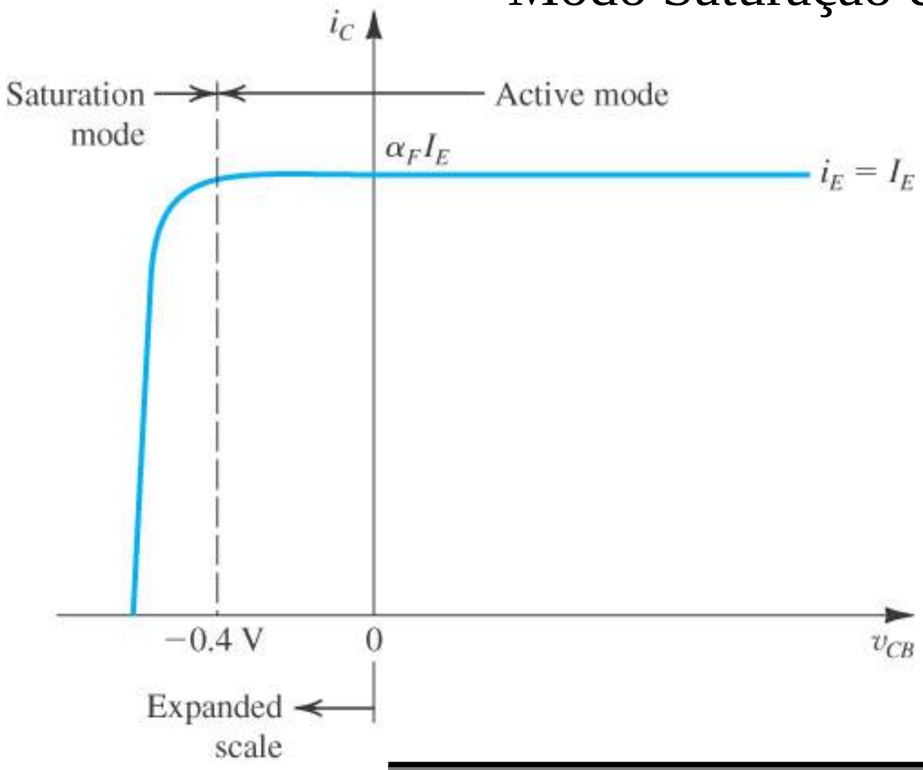
Fonte de Corrente Constante

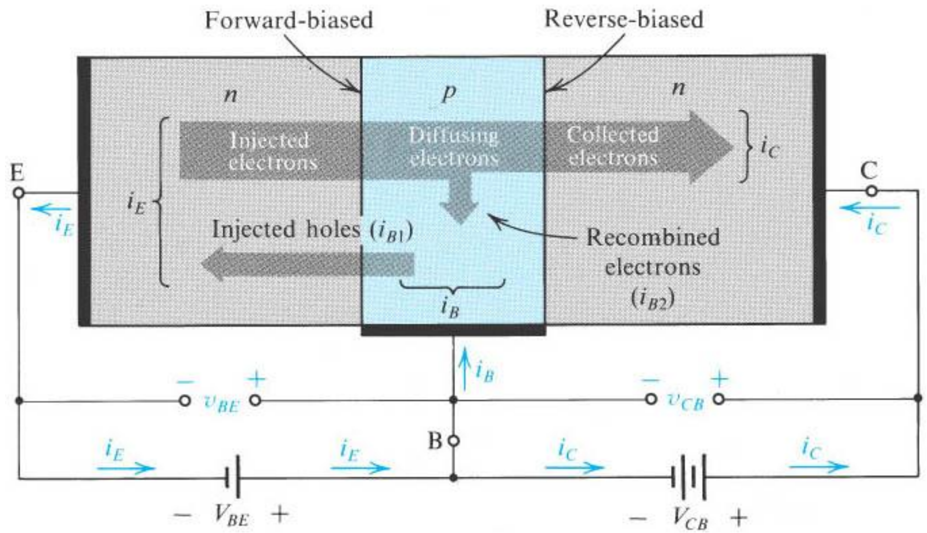


Idealmente, a corrente de coletor não depende de v_{CE}.

Transistores TBJ

Modo Saturação e Modo Ativo.

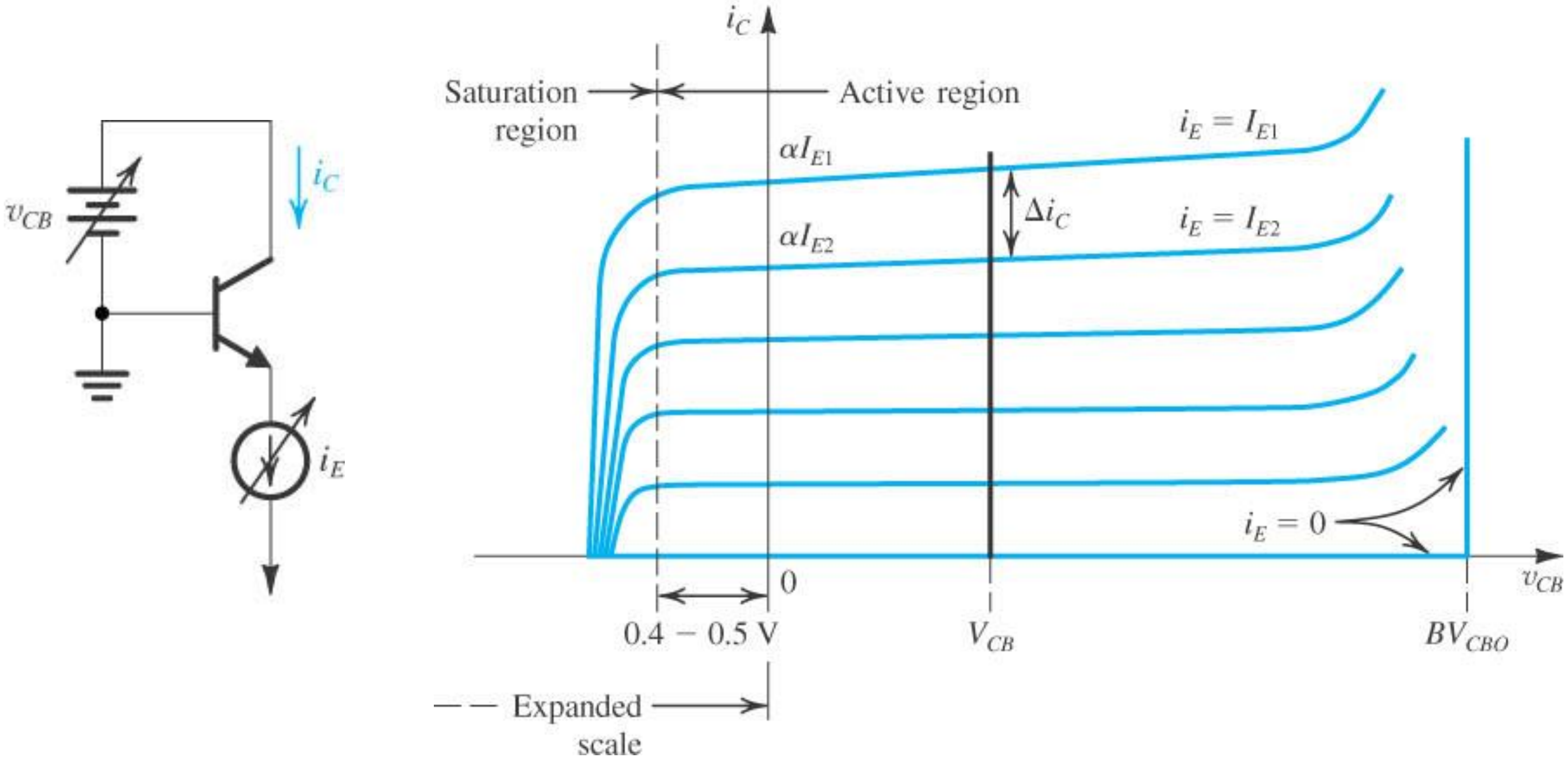




Modo	JEB	JCB
Ativo	Direta	Reversa
Corte	Reversa	Reversa
Saturação	Direta	**Direta**
Ativo Reverso	Reversa	Direta

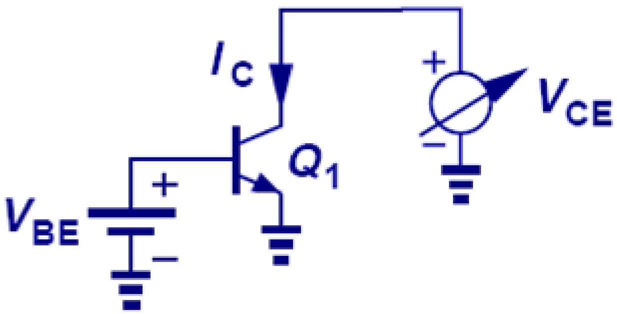
Transistores TBJ

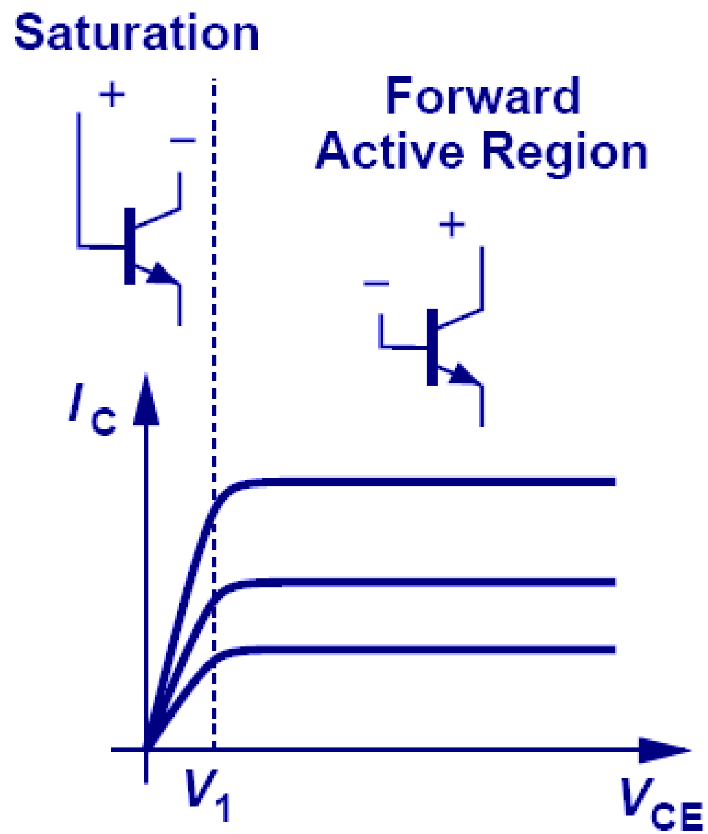
Representação Gráfica das Características do Transistor



Curva Característica i_C x v_{CB} transistor *npn*

Representação Gráfica das Características do Transistor



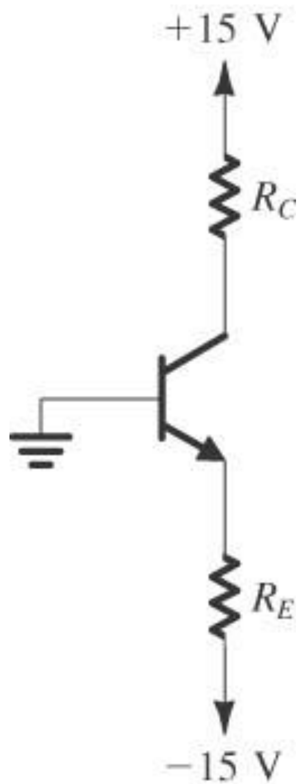


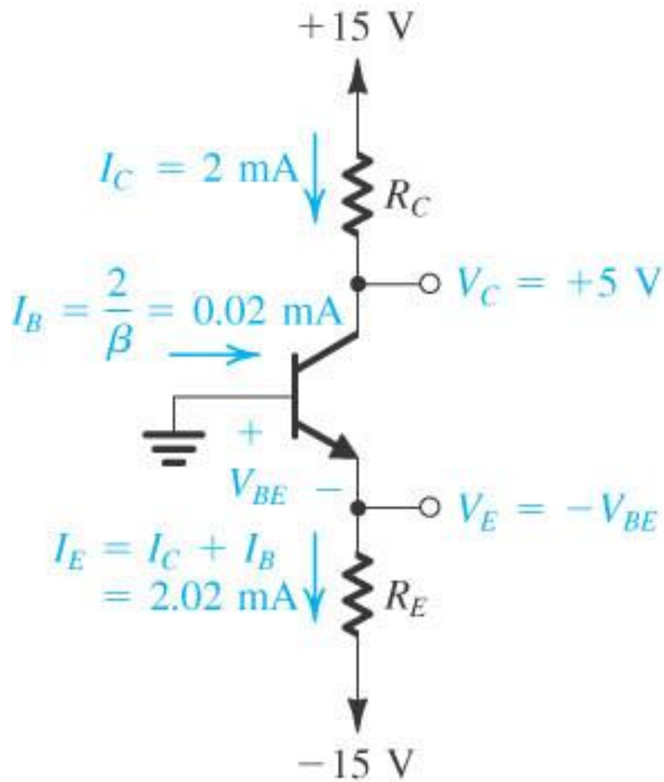
I_B aumenta,
β diminui na saturação

Curva Característica i_C x v_{CE} transistor *npn*

Transistores TBJ

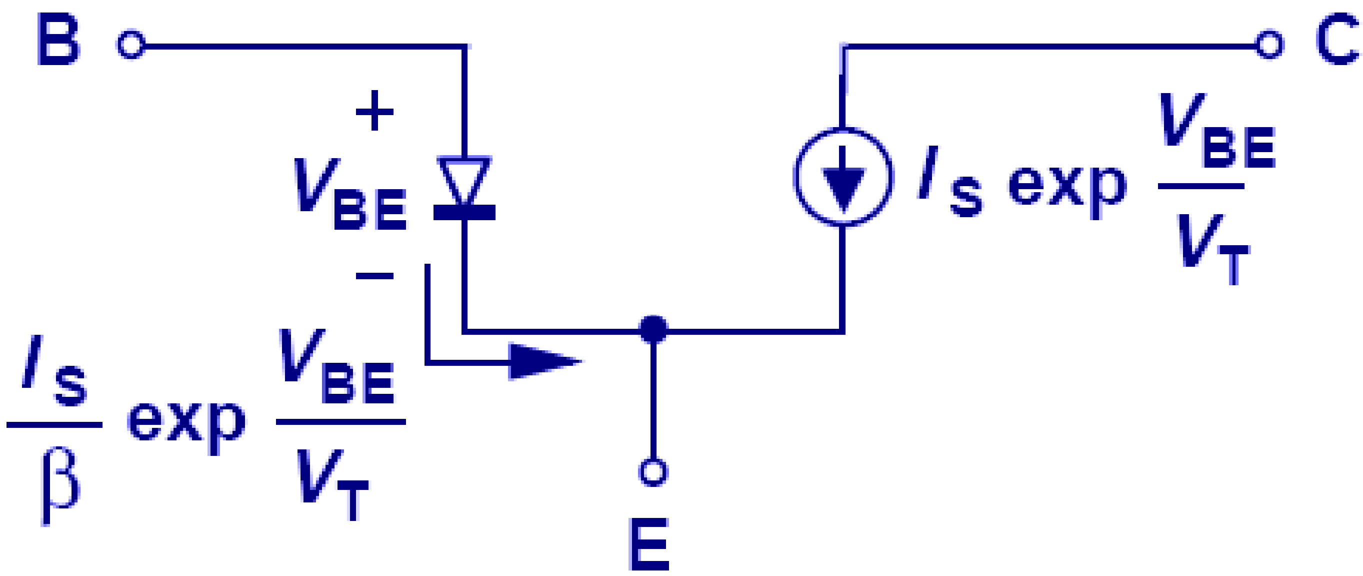
Ex. 1: O transistor do circuito abaixo tem β = 100 e v_{BE} = 0.7 V quando i_C = 1 mA. Projete o circuito para se ter uma corrente de coletor de 2 mA e uma tensão de +5 V no coletor.





Transistores TBJ

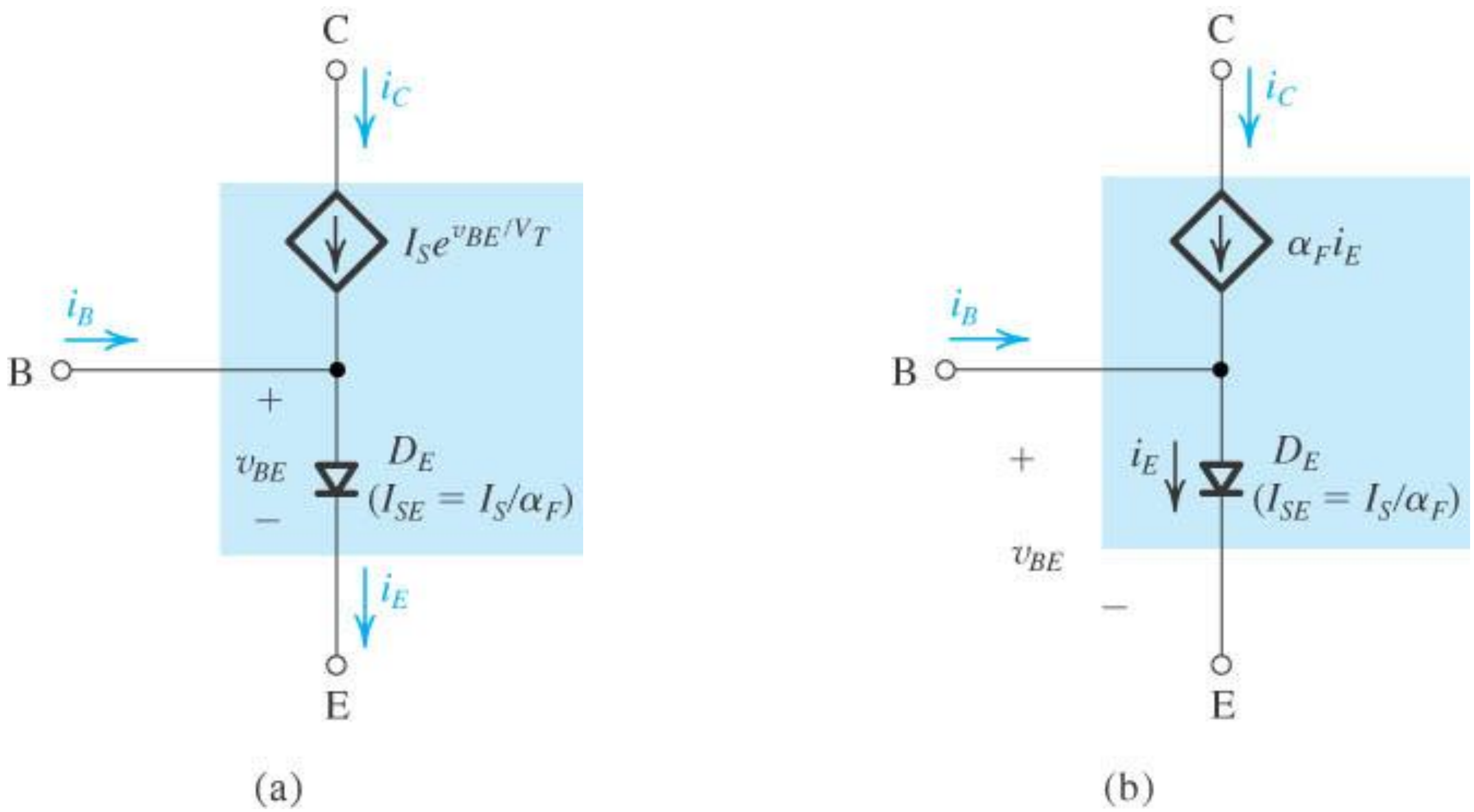
Modelo de grandes sinais (π) para o BJT *npn* operando no modo ativo



Um diodo é colocado entre a base e o emissor e uma fonte de corrente controlada por tensão é colocada entre o coletor e o emissor

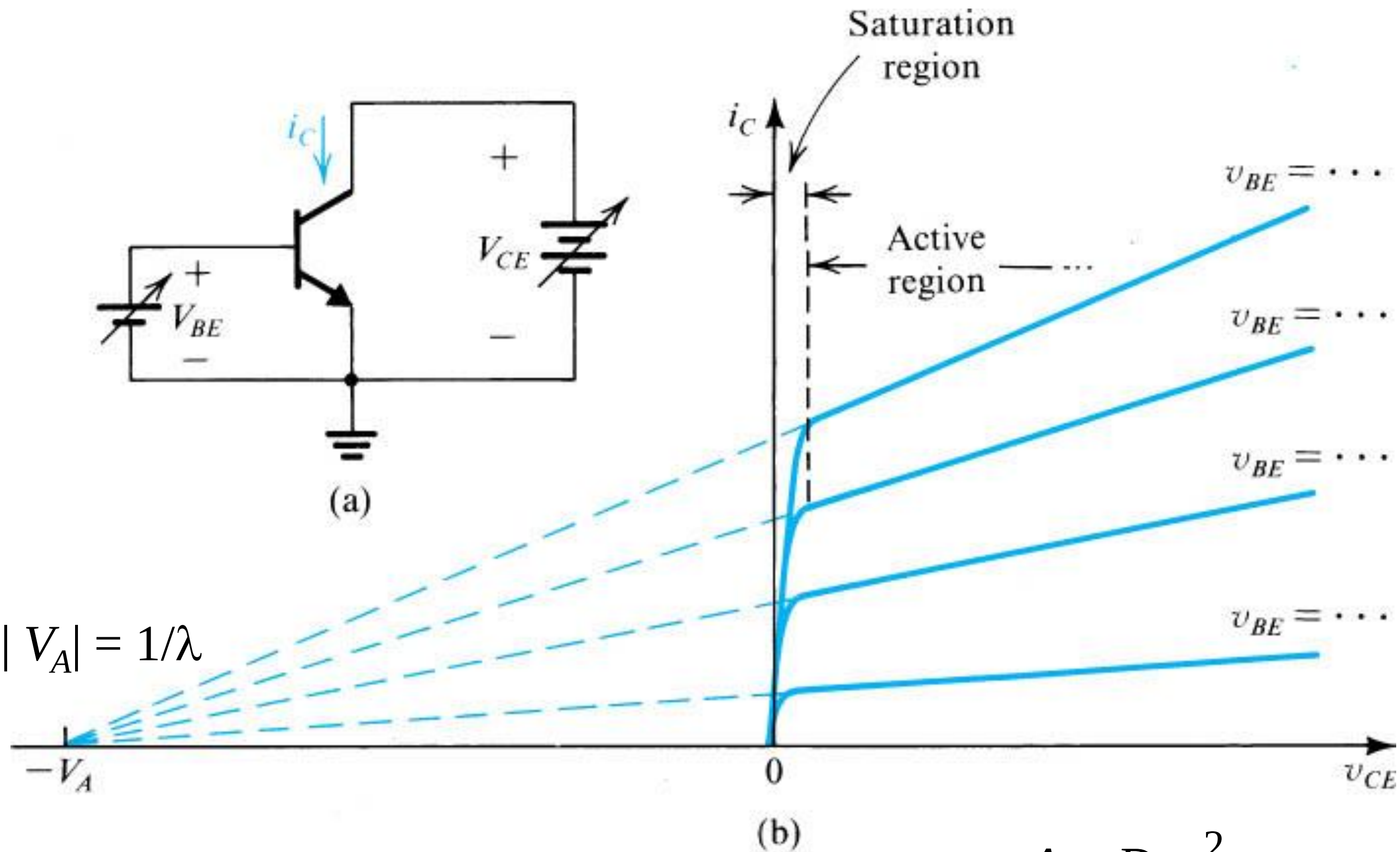
Transistores TBJ

Modelo de grandes sinais (T) para o BJT *npn* operando no modo ativo



Transistores TBJ

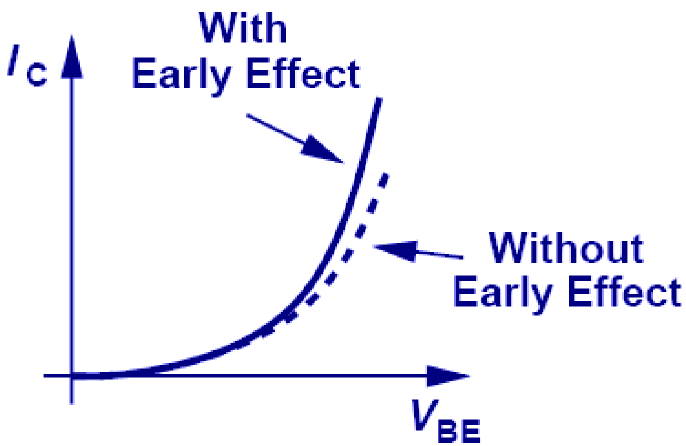
Modulação da largura de base
O Efeito Early

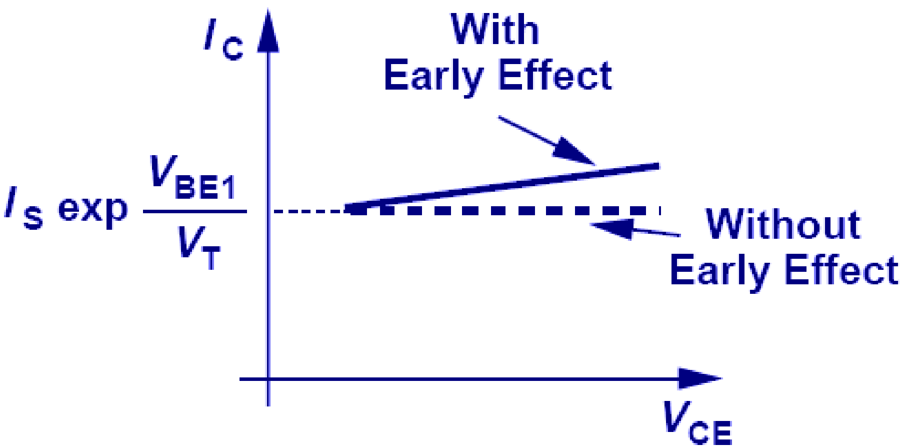


$$I_S = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W}$$

Transistores TBJ

Modulação da largura de base
O Efeito Early





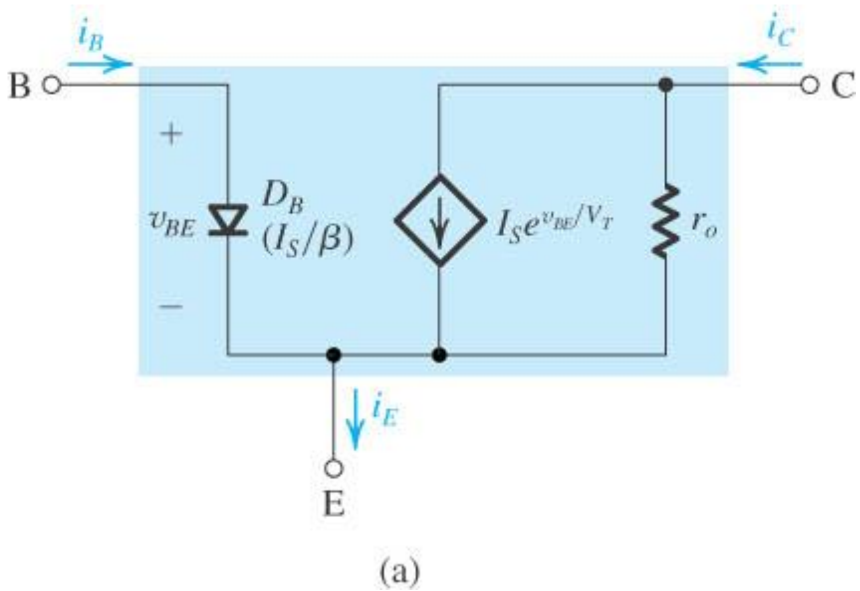
$$i_C = I_S \exp^{v_{BE}/V_T}\left(1 + \frac{v_{CE}}{V_A}\right)$$

$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{V_A}{I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T}} \approx \frac{V_A}{I_C}$$

I_C é a corrente de coletor sem o efeito Early.

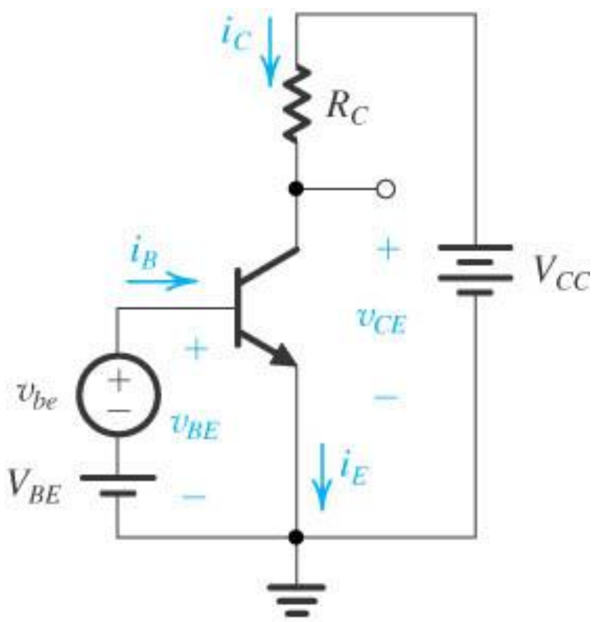
Transistores TBJ

Modelo de grandes sinais para o BJT *npn* operando no modo ativo na configuração emissor comum com $\lambda \neq 0$

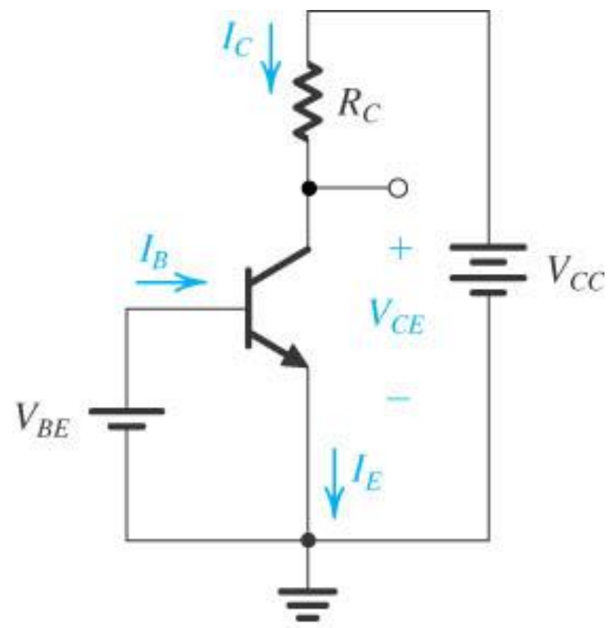


Transistores TBJ

O Transistor como Amplificador
Polarização



Sinal + nível cc



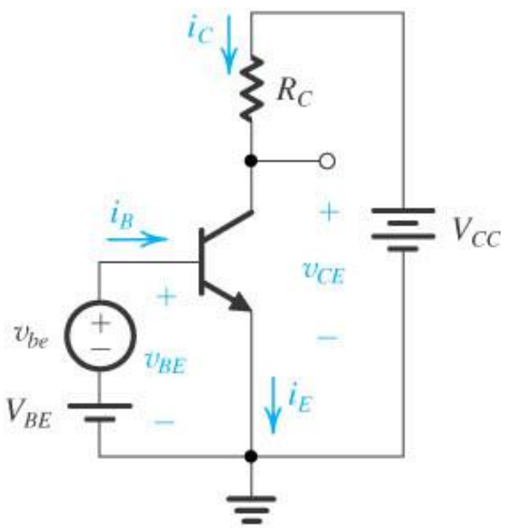
Polarização (nível cc)

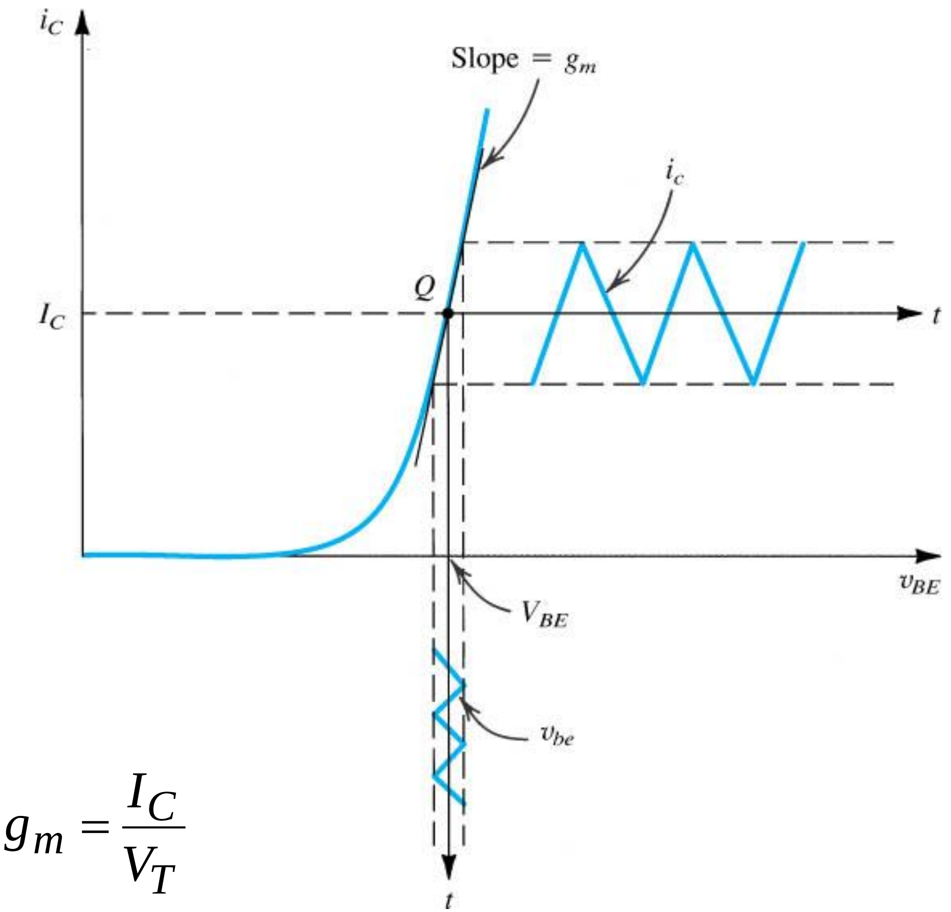
$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

Transistores TBJ

O Transistor como Amplificador

Transcondutância





$$g_m = \left.\frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}}\right|_{i_c = I_C}$$

$$i_c = g_m v_{be}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

Operação linear do BJT sob polarização de pequenos sinais: $v_{be} << V_T$

Transistores TBJ

O Transistor como Amplificador

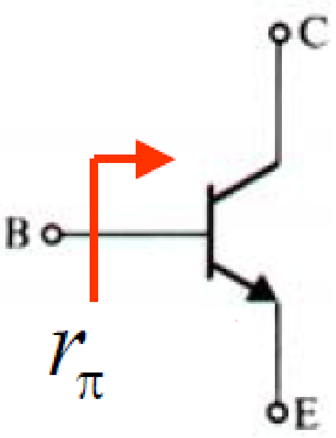
Corrente de Base e a Resistência na Base

$$i_B = I_B + i_b$$

$$i_b = \frac{g_m}{\beta} v_{be}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B}$$



Transistores TBJ

O Transistor como Amplificador

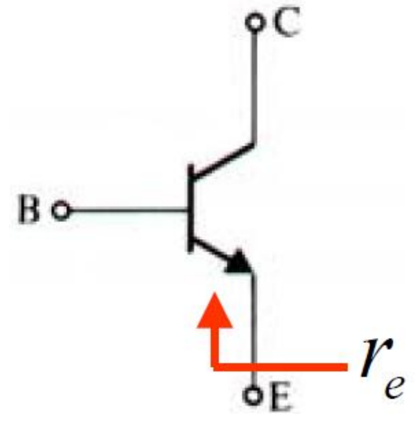
Corrente de Emissor e a Resistência no Emissor

$$i_E = I_E + i_e$$

$$i_e = \frac{I_E}{V_T} v_{be}$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

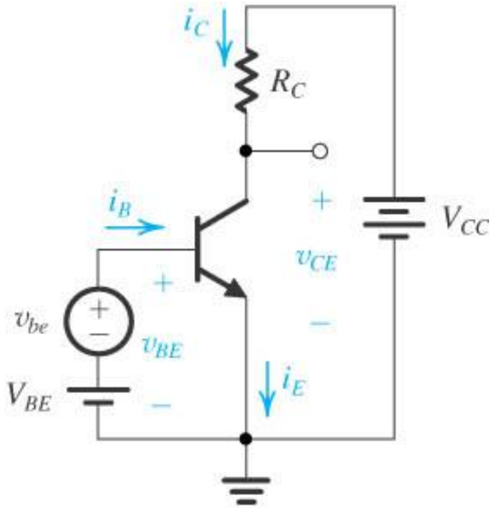


$$* \, r_\pi = (\beta + 1) r_e$$

Transistores TBJ

O Transistor como Amplificador

Ganho de Tensão



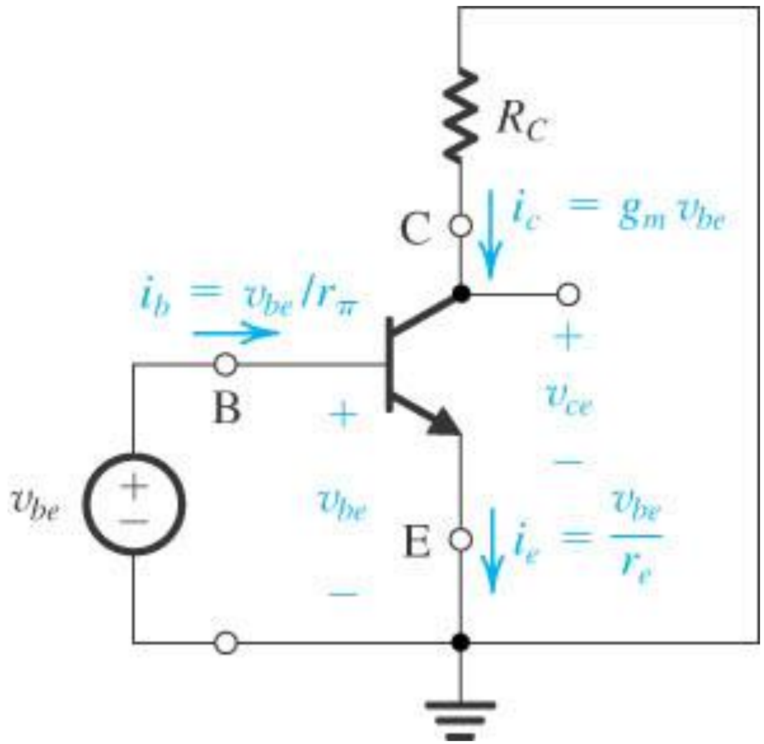
$$v_c = -i_c R_C = -g_m v_{be} R_c$$

$$A_v \equiv \frac{v_c}{v_{be}} = -g_m R_C$$

Ganho de tensão do amplificador na configuração emissor comum

Transistores TBJ

Modelos equivalentes para pequenos sinais

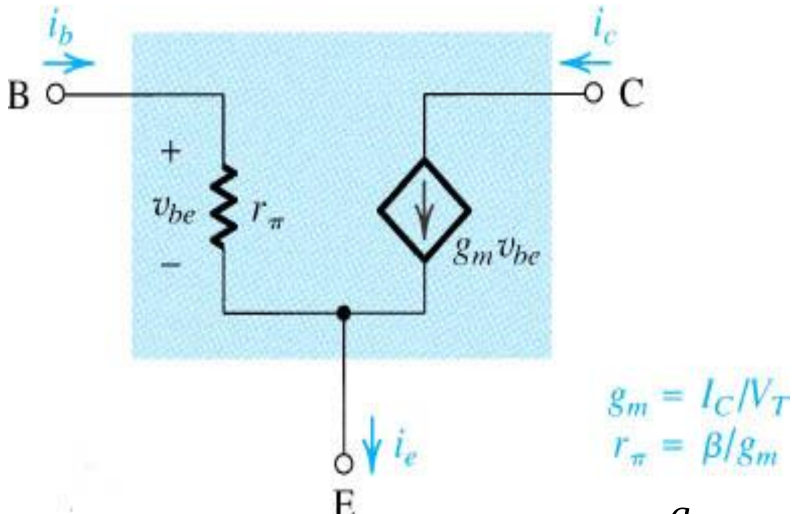


Circuito conceitual do amp. BJT

Transistores TBJ

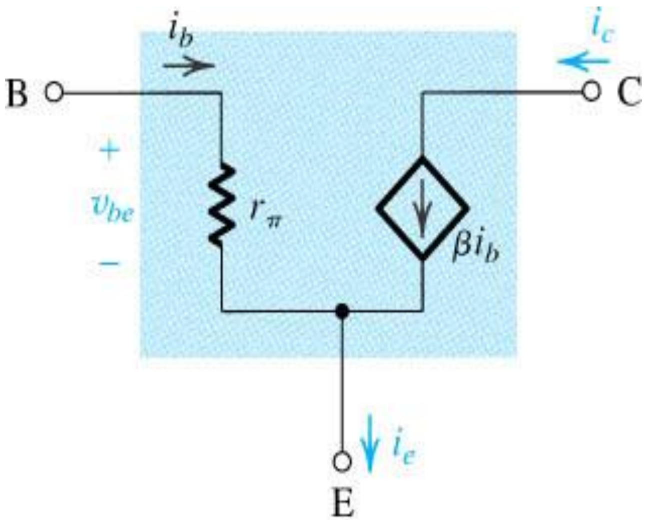
Modelos equivalentes para pequenos sinais

Modelo π-híbrido



$$i_b = \frac{g_m}{\beta} v_{be}$$

(a)



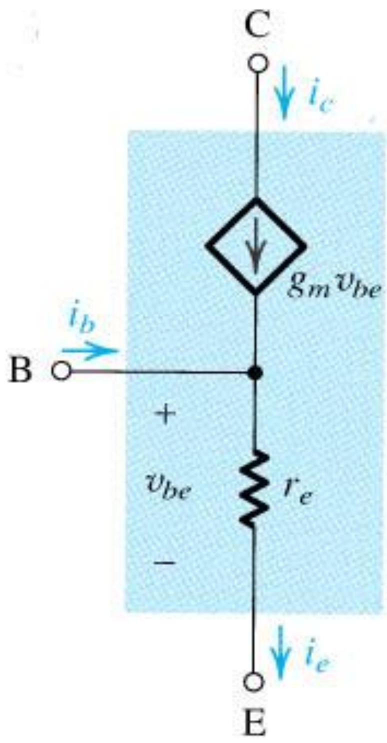
(b)

Amplificador de transimpedância

Amplificador de corrente

Modelos equivalentes para pequenos sinais

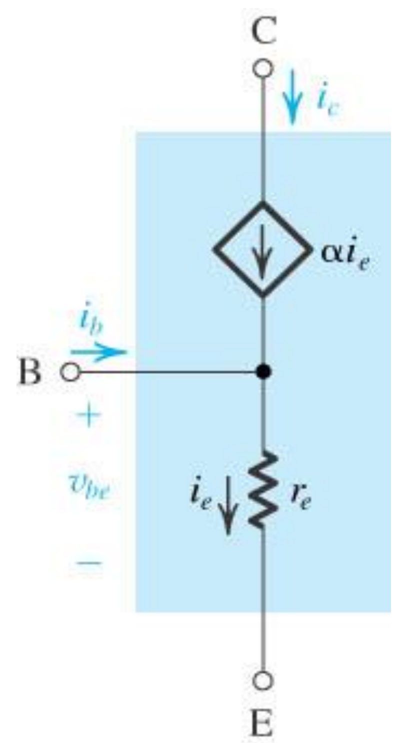
Modelo T



(a)

$$g_m = I_C/V_T$$

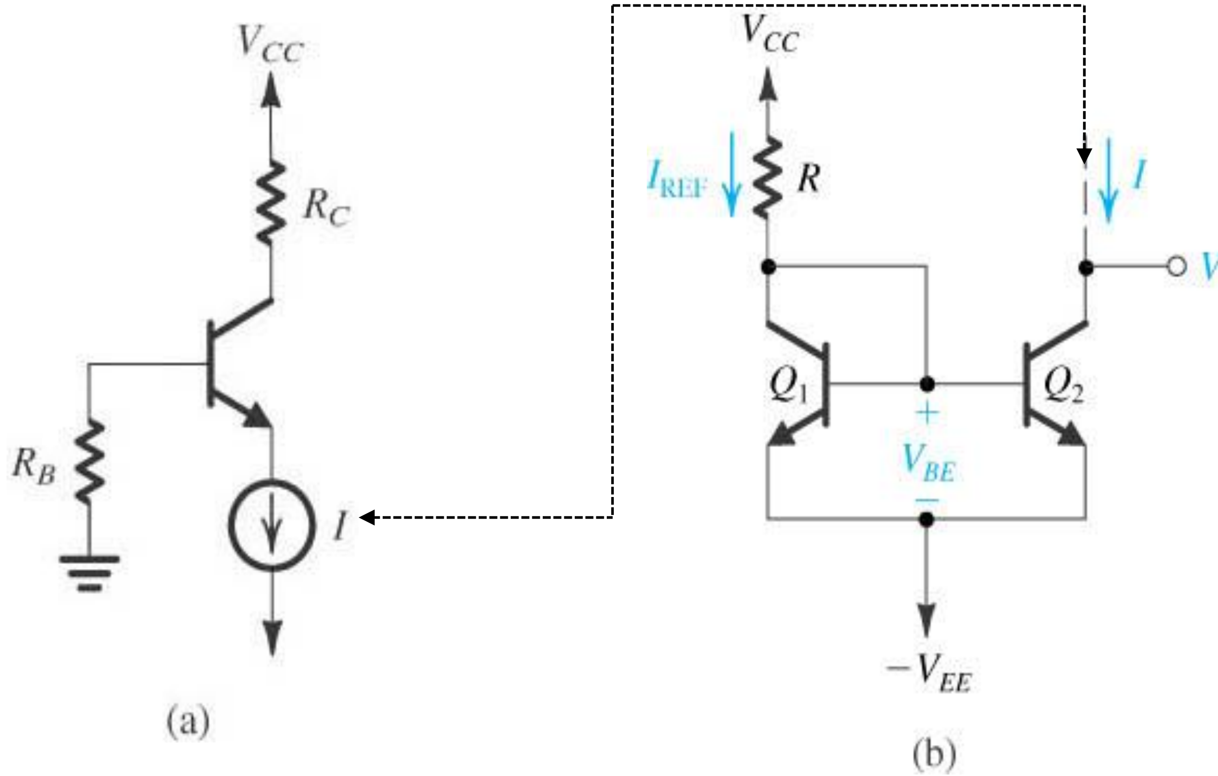
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



(b)

Transistores TBJ

Polarização de Circuitos para Amplificadores BJT.



Polarização usando fonte de corrente constante

Circuito utilizado para o projeto da fonte de corrente "Espelho de corrente"

Transistores TBJ

Processo de análise de pequenos sinais através dos modelos

1. Determina-se o ponto de operação cc (I_C).

2. Calculam-se os parâmetros de pequenos sinais:

$$g_m = I_C/V_T,\ \ r_\pi = \beta/g_m \ \text{ e } \ r_e = V_T/I_E \cong 1/g_m.$$

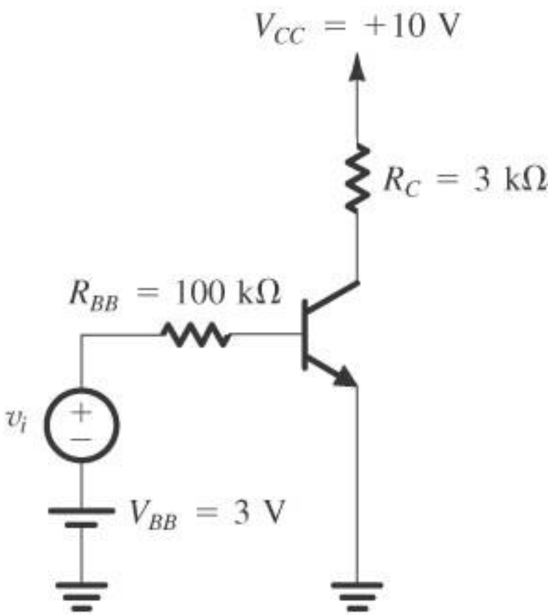
3. Substituem-se as fontes cc de tensão por um curto-circuito e as fontes cc de corrente por um circuito aberto.

4. Substitui-se o TBJ pelo modelo equivalente.

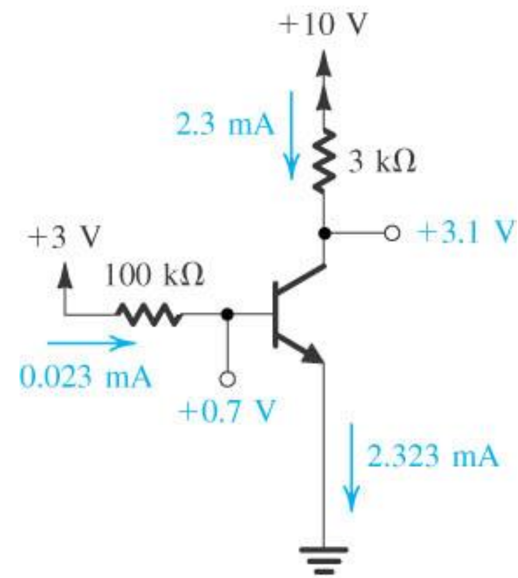
5. Analisar o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse.

Transistores TBJ

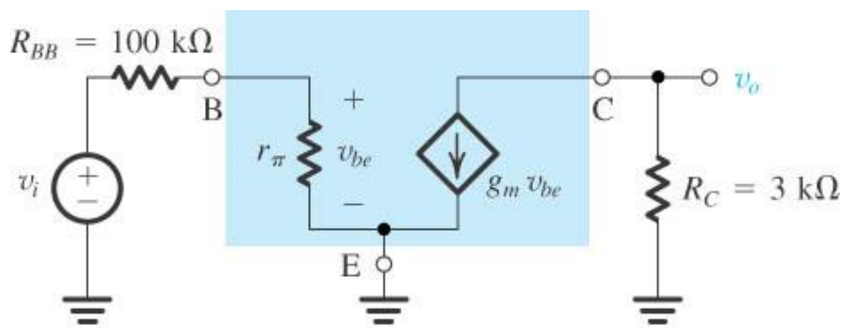
Ex. 2 – Utilizando o transistor da figura abaixo como amplificador, determine o ganho de tensão. Assumir β = 100.



(a)



(b)



(c)

Transistores TBJ

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith 5ed.
  Cap. 5, item 5.1 até 5.6

- Razavi. 2ed.
  Cap. 4.

Exercícios correspondentes.